

芦屋大学論叢 第81号
(令和6年3月25日)抜刷

《研究ノート》

エコマテリアルと環境にやさしいものづくり

—SDGsにつながる炭づくり体験学習—

中 岡 禎 雄
藤 本 光 司

《研究ノート》

エコマテリアルと環境にやさしいものづくり

－SDGsにつながる炭づくり体験学習－

中岡 禎 雄 (1)

藤 本 光 司 (2)

(1) 芦屋大学経営教育学部非常勤講師

(2) 芦屋大学経営教育学部

1. はじめに

私たちの生きる 21 世紀は、20 世紀半ばまでと比較して全く異なるスピードで変化するようになった。

20 世紀後半に起こった人口増加は、人類史上例を見ないペースであった。1900 年には約 16 億人であった世界人口は、2000 年を超える頃には 60 億人を超え、現在では 70 億人以上となった。このような人口急増に伴って人間の生活にかかわる活動も広範にわたるようになるとともに、活発化するようになった。

こうした人間社会を後押ししてきたものが科学技術の発達と言える。そして、人間が地球上の様々な地域で大量生産、大量消費を行い、それに伴うものの移動を行った結果、自然環境に大きな負荷をかけることとなってしまった。

佐藤らは、SDGs を達成するための期間を指して SDGs 時代と定義し、SDGs 時代の教育のあり方¹⁾ について、こうした現状に対して「ストックホルムレジリエンス研究所のヨハン・ロックストロームをはじめとする研究グループが「プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）」という概念を提唱し、地球の生命維持システムが限界に達しつつあると警鐘を鳴らしている。佐藤らによると、「プラネタリー・バウンダリーとは、地球の安定性を維持する最重要プロセスを特定し、各プロセスについて安定した地球で人類が安全に活動できる範囲を科学的に定義し定量化するもの」であると述べている。このことは、全地球的気候、成層圏オゾン、生物多様性、海洋酸性化などの重要な自然システムに関して地球が限界を迎えつつあることから、壊滅的な状況を迎えつつあるため、壊滅的な状況に至る前に、その限界に対する閾値の境界を知る必要がある。

彼らの研究では、安定的で回復力のあるプラネタリー・バウンダリーの範囲内で、貧困の緩和と経済成長を追求するという発展のパラダイムが必要であると指摘している。2000 年に国連で採択された「ミレミアム開発目標 (MDGs)」では基本的に途上国を対象とした目標を掲げ、極度の貧困と飢餓の減少、初等教育の就学率の向上、ジェンダー平等の教育の展開などの成果を上げたが、全世界に関する環境や資源の問題には重点が置かれることは無かった。この成果と反省のもとで 2015 年に国連で採択された「持続可能な開発目標 (SDGs)」と環境教育の関連において、「地球資源制約の視座と持続可能な開発目標のための学びが重要であり、地球の限界に関する閾値の境界を知るのみならず、その条件下 (資源制約下) における人類の制御型知性の重要性」が指摘されている。「持続可能な社会を構築する上での人類の制御型知性とは、人間が地球規模の持続可能性の問題に対処するために必要な知識、技能、価値観、判断力、創造力、コミュニケーション能力の総称と言える。

他方では、これらの力を育むことを目的とした教育活動を行うためには、SDGs に関する情報を与えるだ

けでなく、パートナーシップを持って「環境」、「社会」、「経済」に係る体験学習から「気づき」や「学び」を積み上げていくことが重要であると考えます。こうした体験学習をより多く経験させることから、自然や社会への関わり、倫理的に行動する力が身につき自己変革へとつながることも期待できます。

本稿では、環境に配慮した素材であり、持続可能な社会を構築するために重要な役割を持つ、「エコマテリアル」に焦点を当て、環境に配慮した行動をとるための知識や技能を身に付けさせることを目的とした「炭づくり体験学習」の成果と課題について示し、持続可能な社会を構築するための教育の意義や在り方について述べる。

2. 木炭とエコマテリアルの関連

2.1 木炭の歴史

木炭と人間とのつながりは長く、引用文献では、(炭の歴史, 炭生館)²⁾「約 30 万年前の遺跡から、日本最古の炭が発見されている。その当時から、炭が料理に使われていたものと考えられている。

弥生時代後期には、鋤や鍬などの鉄製農具を加工するための熱源として炭が使われるようになった。

奈良時代には、炭の製法が改良され、質の高い白炭(しろずみ)がつくられるようになった。高温で焼かれてつくられる白炭は、炭に火がつくと火が消えにくい性質のため暖房にも使われ始めた。

1950 年代以降の木炭の利用について、引用文献では、(久米, 2000)³⁾「1950 年代になるまで、炭は料理や暖房の主燃料として使われてきたが、1950 年代後半からはエネルギー源として手軽なガス、石油及び電気が普及し始めたため、炭の消費が大幅に減少し、1930 年代までは、2000 万トン以上あった生産量が 1950 年代には 17 万 5 千トン程度まで減少した。」と示している。

これらのことから、木炭は古代から人間の生活に利用され、文明の発展にともなって、木炭の製造方法も改良され変化し、用途を広げてきた。また木炭を主としたエネルギーとして人間が利用してきた時代が少なくとも 30 年以上続いてきたことについては、再生可能で環境負荷の少ないエネルギー資源であると言える。

2.2 近年における木炭の利用

近年になり、様々な研究から炭のもつ特別な性質が解き明かされてきたことによって、多くの分野で注目を集めるようになった。

このような木炭の利用について久米は、³⁾「これまでのエネルギーや炭素材料としての用途だけでなく、土壌改良用、水環境や汚染土壌の浄化用、住宅の床下湿度調整用に使われるなど、燃料以外での用途が広がっている。その他微粒子を吸着する等の性質を利用し、健康管理や環境保全など日常生活での用途も注目され積極的に利用されるようになっている。これらの木炭のことを、『新用途木炭』と呼び、林野庁の定める木炭の規格には、木炭の種類により精練度、揮発分、灰分の割合が明記され、日本木炭新用途協議会会員が製造・販売する新用途木材に適用されていた。」と示している。

木炭は、現代社会で人々の生活に利用される石油、石炭、天然ガスといった一次エネルギーから作られる、石油系燃料、電気、都市ガスなどと比べると使用時の利便性、安全性に劣る部分が多い。

しかし、木炭は自然環境、生活環境、健康面において良い影響を与え、現代社会に生きる人間にとって役立つ材料としての需要が高まっている。また木炭を利用した製品についても、材料となる木炭の用途別の規格と表示内容が法的にも定められ、安心して利用できる材料であると言える。

2.3 木炭の使用と環境への影響

木炭は、再生可能なエネルギー源であり環境に良いと言われている。

持続可能な木質資源について、石油、石炭、鉄鉱石などの埋蔵資源は、掘り出して使ってしまうと、いつかは無くなってしまう。しかし木質資源は、伐採して材料やエネルギー源として使用しても、その後新しい苗木を植えることにより20年～50年で、また材料やエネルギー源として使えるように成長してくれる。熱エネルギー源としての木炭の使用においても、炭材として使用する木材の量が、生産する樹木の量を超えない限り、植樹、育成、伐採といった一連の循環を繰り返すことができれば木材は永久に持続可能な資源として利用できる。

エネルギー生産とCO₂の関係について示されているTHE CARBON ALMANACには、⁴⁾「エネルギー生産によるCO₂の排出量は、地球全体の排出量の73.2%を占めている。2019年、人間は16万テラワット時(TWh)を超えるエネルギーを消費した。この消費量は1950年に全世界で使用した電力の8倍に相当する。人口が3倍になったとはいえ、エネルギー由来の排出量は、同じ時期に700%以上も増加している。これだけ多くのエネルギーを生産するにあたり、15ギガトンを超えるCO₂が排出されている。2019年時点で、低炭素またはゼロカーボンのエネルギー源から供給されているエネルギーは、全体の15.7%にすぎない。残りは石油、石炭、天然ガスから生成するエネルギーは単位当たりの炭素量がとりわけ多い。中でも石炭は、ほかのどのエネルギー減よりも単位当たりの温室効果ガスを多く排出する。」と示されている。このことから太陽光、風力、水力などと同様に木炭が環境にやさしく、持続可能な社会を構築するために適した再生可能エネルギーであると考えられる。そこで、調査資料やデータを、木炭はエコマテリアルであるという根拠とし、環境にやさしいものづくりの一環で木炭づくりの体験学習を行うことにした。

3.木炭づくり体験活動の概要

3.1 体験学習の対象について

筆者らは、2007年から兵庫県尼崎市の成良中学校において、「持続可能な開発のための教育(ESD)」の取り組みを続けてきた。技術科、総合的な学習の時間を軸としながら、各教科が連携して自分たちの住む地域を自分たちの力で改善しようとする力を育ませることを目的とした環境教育に取り組んできた。このような学習活動に興味関心を持ち、自分たちが主体となって地域の環境改善に取り組む生徒たちによるネイチャークラブと呼ばれる集団が誕生した。

今回の体験学習の対象者は、2017年以降に成良中学校に入学してきた1年生4人、2年生3人、3年生2人のネイチャークラブのメンバー9人と中学生の支援するために参加した卒業生(当時19歳)の10人である。

3.2 体験学習の日時

第1回目

2019年5月18日(土) 10:00～17:00 炭材の運搬及び窯への炭材の搬入作業

第2回目

2019年6月15日(土) 10:00～16:00 炭出し作業

2019年6月15日(土) 18:00～19:30 バーベキュー体験

3.3 体験学習に選んだ場所と理由

体験学習は、ネイチャークラブの発足以来、自然体験学習と、互いの地域課題を共有して解決に向けて地域間連携を行ってきた徳島県勝浦郡上勝町で開催することにした。炭焼きの体験については、敷地が広く、古くから使われてきた窯が現存し、これまで一般の木炭づくり体験も実施してきた実績を持つことから上勝町旭上平の織部窯に決定した。

3.4 木炭づくり体験学習の目的

持続可能な社会の構築につながる教育活動として、「エコマテリアルである木炭」を作ることについては、SDGsの目標の一つである「つくる責任と使う責任」に関連する取り組みであると言える。

炭づくりは木材を炭化させることで木炭を作り、再生可能なエネルギー源である木炭の製造過程を学ぶことができる。また製造過程には、森林から炭材となる樹木伐採を行う事や、エコマテリアルとは言え、炭焼きの過程においてはCO₂を排出することに対する環境への負荷がかかることについても学び、環境に配慮した意思決定を行う力を身に付けさせたい。

3.5 木炭づくりの流れ

上勝町で炭焼きを長年続け、自然体験活動において豊富な経験と実績を持つ大塚康男氏に指導を仰いだ。

また体験活動の行程についても、ネイチャークラブの指導である筆者と大塚氏で、木炭づくり体験活動の参加者のこれまでの自然体験活動の経験をもとに、安全に配慮した内容となるように行程を検討した。

炭づくりは、樹木の伐採からはじまる。伐採した樹木を3週間から4週間寝かせて、長さ130 cm程度に切断して、幅が10 cm程度にそろえて割る。このような作業は、チェーンソーなどの大型の切断工具を使用して行われるため、事前学習で危険度が高すぎることで実際の映像を見せることとした。

今回はクヌギを炭材に選び、伐採は大塚氏と上勝町内の協力者に依頼し、炭材の搬入作業は参加者が行う事とし、完成した炭に含まれる炭素量を割り出すために、全炭材の重量を測定した。

窯への搬入については、指導者の指示に従って先ず炭窯の床面に敷木を並べ、次に炭材の水分が抜けやすいように、敷木の上に炭材を立てて並べた。立木の上に、上げ木と呼ばれる炭材を、立木を安定させるために置きながら、窯の天井まで隙間なく積み上げる作業については指導者が行う様子を見学した。

慎重に窯の中に炭材を並べた。次の行程の空気穴と焚き口づくりでは、赤土を水で練って粘土を作り窯の内側に塗って壁をつくる作業を見学した。第1回目の体験学習はここまでとし、火入れから窯止めまでの行程については、大塚氏より口頭での説明を受けた。火入れから3日目までは火を燃やし続け、3日目以降煙の色を目安に窯に薪を入れるのを止め、薪口を赤土の粘土で塞いで窯を密閉する実際の様子は、ビデオカメラに収録された映像によって確認した。

第2回目の体験学習では、窯から焼きあがった木炭のうち原型に近い形のものを取り出し、横引き用の鋸を使用して12 cmの長さに切り揃えた。その木炭の総重量をカゴに入れて体重計で測定した。

次に窯の中の真っ白く焼けた灰と砕けた木炭を集めてフルイにかけ、灰と砕けた炭をバケツに分類しそれぞれの重量を測定した。最後に、出来上がった「木炭の利用」として炭に火をつける方法や、火力の調整の仕方についてバーベキューを通して体験した。またバーベキューで燃焼しきった木炭の灰は、学校に持ち帰り作物栽培用の畑の土壌改良に利用した。

4. 木炭づくりの結果と炭の利用における学び

4.1 木炭づくりにおける定量的な検証

今回の体験学習では、全炭材の重量を 300 kg に調整し、窯の中に搬入して木炭づくりを行った。元の炭材の原型に近い形の木炭の総重量は 156 kg で砕けた木炭の重量を合計すると総重量は 197 kg であった。灰の重量は 28 kg であった。

クヌギを材料とした黒炭づくりを行った場合、炭化温度や、炭化時間、炭化方法によってその中に含まれる炭素の割合は異なると言われている。

今回使用した炭焼き専用の土窯で 600℃ ～ 700℃ に炭化温度でクヌギの炭材を焼いた場合、炭化温度による炭素の性質によると、炭材が炭化する過程で、灰となる重量の割合は 10 % 以下、揮発する物質の重量の割合は 10 ～ 22 % が基準となると示されている。また木炭中に含まれる固定炭素の割合は 75 % 以上であると示されこれは炭材の 50 % の値に等しい⁶⁾ とテキサ製作所の資料に示されている。このことを基に、今回作った木炭との関係を表 1 に示した。なお揮発する物質の重量は、灰の重量に木炭の重量を加えた値を、炭材の重量から差し引いて算出した。この表から灰となる重量の割合は、基準値内に当てはまり、揮発分の重量については基準を超えるが、おおむね当てはまる数値であると思われる。また炭材の約 50 % が炭素量に等しいということから、300 kg あった炭材の炭素重量は約 150 kg であると算出できる。この数値と表 1 に示した炭分の値から木炭中に含まれる固定炭素量の割合を算出すると 76.5 % となり基準に当てはまる数値であると言える。このことから、炭づくりの全工程において大きな失敗や間違いが無く、クヌギから黒炭を作ることができたと考えられる。

表 1 炭づくりの過程で生まれ物質と炭材の重さに対する割合

	重さ (kg)	炭材との割合 (%)
灰分	28	9.3
炭分	196	65.3
揮発分	76	25.0

4.2 参加者の意見や感想から推察する体験学習の目標達成との関係性

木炭づくりや、バーベキュー体験を行った中で行ったヒアリングや、参加者どうし話し合いの場に出た意見を表 2 に記し、この意見や感想と体験学習の目的の関係性を考えた。これについて図 1 では、体験学習における感想や意見に出てきた言葉の重要性をワードクラウドによって文字の大きさを示している。「木炭」、「炭素」、「環境」、「地球温暖化」、「燃料」、「熱エネルギー」、といった名詞は大きなサイズで表示されていることから、SDGs の「つくる責任と使う責任」との関係性の強さが示されている。

この体験学習を通して参加者たちに理解させたかった、「木炭は炭素を固定できる材料であるが、熱エネルギー源の燃料として使用するためや、新用途木炭として活用するために森林の乱伐が行われた場合、より急激な地球温暖化を招き、地球環境を悪化させる」、ということを多くの参加者が考えていたと思われる。また「まもる」、「役立つ」、「育てる」、「つながる」といった動詞には、環境に配慮した意思決定を行う力を身に付けるという目的に関して、参加者の少しずつではあるが取り組んでいこうとする気持ちが示されていると推察する。

5. 今後の課題と展望

「SDGs 学習につながる木炭づくりの体験学習」は、2019 年から複数年度にわたって実践することを考えて準備を進めてきたが、2020 年 1 月から急激な勢いでコロナウイルスが全世界を襲った。日本においてもこれまでの社会機能が麻痺し、教育の現場においても様々な制限が課せられてきた。

しかし、このような時代であるがらこそ、持続可能な社会を構築するための知識を身に付けるだけの教育ではなく、「持続可能な社会を作り上げるための行動の教育」を実践する必要がある。

今回の体験学習では、炭材となる樹木の生育環境の観察、炭材の運搬と窯への搬入、焼きあがった木炭の窯からの搬出、木炭の切断、木炭の利用と使用後の灰の活用について本物に触れ体験することができた。この体験から中学校における技術科をはじめ、理科、社会科、家庭科の学習内容につながりを持つ知識と技能を身に付けさせることができた。

またこれらの体験学習を通して、多くの人々と関わり合いながら経験を重ねていくことで今後、「社会に対する興味・関心の向上」、「課題発見や課題解決能力」、「自己肯定感の醸成」、「倫理的に行動する力」といった教育効果が期待できる。

しかし、本稿で示した実践において、持続可能な社会の構築に必要な力を身に付けるためには改善すべき点が多々ある事に気づいた。特に体験学習の評価について、参加者の感想や発言をもとに目的の到達について推察することはできたが、あくまでも推測であり検証には至らなかった。今後正確な検証を行うためには、学習過程を定量的に評価することが必要となる。このことから今後実施していく体験学習の目標をこれまでよりもわかりやすく示して体験学習に取り組みせること、対象者の行動変容について数値化できる評価方法についても研究を重ねる必要がある。これらの課題について次回の研究レポートにおいて改善できるように取り組んでいきたい。

引用・参考文献

- 1) 北村友人・佐藤祐寿・佐藤学, 編著, 『SDGs 時代の教育, 学分社, 2019, pp3.
- 2) 「炭生館 炭の歴史」, <https://www.gsj-tanseikan.co.jp/charcoal/history/index.html>, 2024.1.アクセス.
- 3) 久米義明 著, 「炭を使う知恵 炭おこしサミット実行委員会編」, 川辺書林, 2000. p35~p40.
- 4) セス・ゴードン著, 宮本寿代翻訳, 「THE CARBON ALMANAC」, 日経ナショナルジオグラフィック社発行, 2022, pp72.
- 5) 「木材の炭素固定量 (shinrin-ringyou.com)」, 森林・林業学習館, <https://www.shinrin-ringyou.com/carbon/kotei.php>, 2024.1 アクセス.
- 6) 「炭化温度による炭の性質」, テサキ製作所, <https://tesaki-works.com/about.html>, 2023.12 アクセス.

